

УДК 621.57

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГАЗОТУРБИННЫХ УСТАНОВОК, УТИЛИЗИРУЮЩИХ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЕ ТЕПЛО КРИОПРОДУКТА

Терещенко О. В., Благин Е. В.

Самарский национальный исследовательский университет
имени академика С. П. Королёва, г. Самара

В настоящее время в различных системах аэрокосмической техники, транспорта, а также в энергетических комплексах различного назначения использование низкопотенциального тепла криогенных жидкостей приобретает всё большее распространение.

В данной работе представлена оценка эффективности установок, работающих по циклу Ренкина.

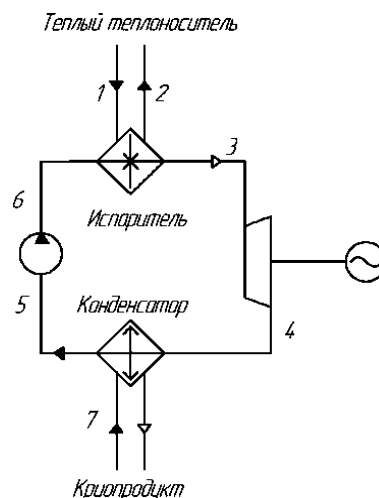


Рис. 1. Принципиальная схема реализации цикла Ренкина для утилизации низкопотенциального тепла криопродукта: 1-2 – теплообмен с окружающей средой; 3-4 – расширение в турбине; 4-5 – конденсация в конденсаторе; 5-6 – повышение давления насосом; 6-3 – испарение жидкости в испарителе; 7-8 – нагрев холодного теплоносителя

Достоинством представленной схемы является малый расход рабочего тела и возможность реализации цикла при высоких степенях повышения давления π_k .

А к недостаткам относится сложность выбора рабочего тела, которое сможет обеспечить высокую эффективность работы установки на всем рассматриваемом диапазоне температур.

Исходные данные холодного теплоносителя: расход, температура и давление холодного теплоносителя соответственно равны: $G_{\text{снг}} = 1 \text{ кг/с}$, $T_{\text{снг}} = 112 \text{ К}$, $p_{\text{снг}} = 1 \text{ атм}$; температура рабочего тела $T_3 = 300 \text{ К}$.

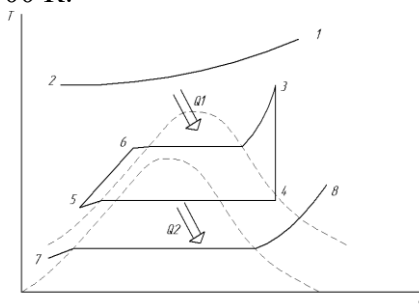


Рис. 2. Изображение процессов на T - s диаграмме

Расчет начинается с определения параметров точки 5.

После этого необходимо задать давлением p_6 , которое будет получено в насосе. Далее посчитать работу насоса по повышению давления:

$$l_H = \frac{(p_6 - p_5)}{\rho \cdot \eta_H} \quad (1)$$

Тогда величина энтальпии в точке 6:

$$i_6 = i_5 + l_H \quad (2)$$

По известным значениям i_5 и p_5 определяется температура T_5 . После этого определяется температура в точке 6:

$$T_6 = T_5 + \frac{i_6 - i_5}{c_{ж}} \quad (3)$$

Давление в точках 3 и 6 одинаково, поэтому по известному давлению и температуре (300 К) определяем энтальпию i_3 . После этого определяем работу расширения в турбине:

$$l_T = \eta_{от} \cdot \frac{k}{k-1} R \cdot T_3 \left(1 - \frac{1}{\left(\frac{p_3}{p_4} \right)^{\frac{k-1}{k}}} \right) \quad (4)$$

Затем определяем энтальпию в точке 4:

$$i_4 = i_3 - l_T \quad (5)$$

После определения параметров цикла определяется термический КПД цикла: $\eta_{th} = 1 - \frac{i_4 - i_5}{i_3 - i_6}$, предельный КПД: $\eta_c = 1 - \frac{T_5}{T_3}$, эксергетический КПД: $\eta_{ex} = \eta_{th} \cdot \eta_c$.

Были рассчитаны следующие варианты установок:

1) Рабочее тело – метан, температура внешнего источника тепла меняется от 300 К до 600 К, давление в насосе постоянное (10 бар), степень повышения давления π_k остается также постоянной величиной.

2) Рабочее тело – метан, температура, до которой догреваем рабочее тело $T_3 = \text{const} = 300\text{К}$, степень повышения давления в компрессоре меняется от 2 до 100.

При постоянной степени повышения давления $\pi_k = 10$ и температуре $T_3 = 600\text{ К}$ меняем рабочее тело: метан, аммиак, двуокись углерода, хладагент R23.

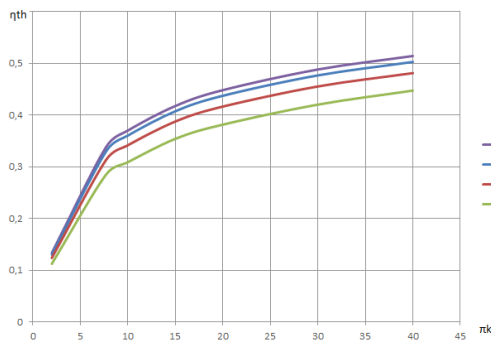


Рис. 3. График зависимости термического КПД от степени повышения давления π_k при разной температуре T_3

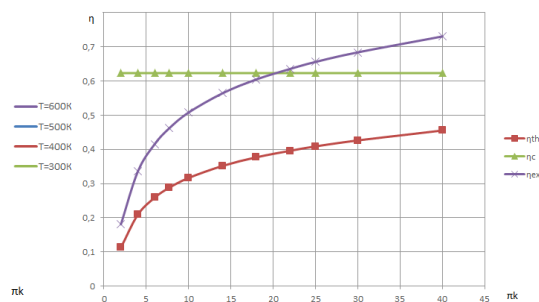


Рис. 4. График зависимости КПД от степени повышения давления π_k при постоянной температуре $T_3 = 600\text{ К}$

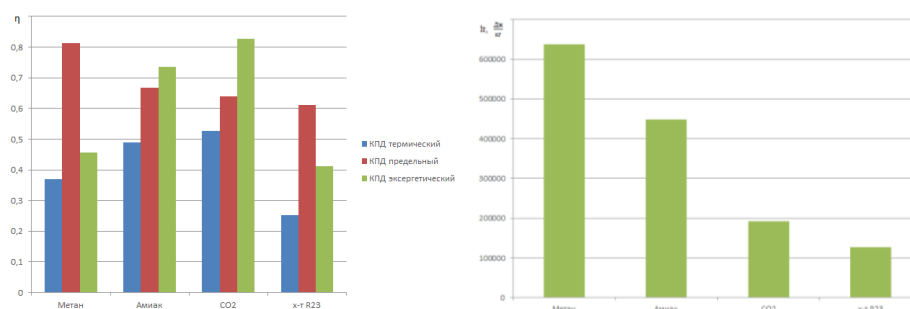


Рис. 5. График зависимости термического, предельного, эксергетического КПД и удельной работы цикла от рабочего тела

Цикл Ренкина позволяет реализовывать процесс с высокой эффективностью при больших степенях повышения давления. Термический КПД растет в зависимости от роста температуры верхнего источника теплоты и степени повышения давления, следовательно вторичное тепло и тепло сжиженного природного газа можно использовать с большей эффективностью. Наиболее эффективным рабочим телом является двуокись углерода.

Библиографический список

1. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей / Н. Б.Варгафтик М.: Машиностроение, 1972. 721с.
2. Теплофизические свойства фреонов / В. В. Алтунин, В. З. Геллер, Е. К. Петров М.: Издательство стандартов, 1980. 231с.Сжиженный природный газ вчера, сегодня, завтра / И. В. Бармин, И. Д. Кунис М.: МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2009. 256 с.